

LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN EL SECTOR ALTO DE LA CUENCA DEL CINCA (PIRINEO ARAGONÉS, ESPAÑA)

JAVIER DEL VALLE MELENDO

*Dr. en Geografía. Consultor técnico de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación
Hidrográfica del Ebro. Paseo de Sagasta, 24. 50.006 Zaragoza (España).*

RESUMEN.- El sector alto de la cuenca del Cinca, situado en la vertiente meridional del Pirineo central, es una zona de relieve accidentado y precipitación media abundante, en la que se observa un importante gradiente altitudinal. Para la caracterización pluviométrica es importantísimo disponer de datos obtenidos a diferentes alturas, por lo que hemos utilizado los recogidos por los pluviómetros del Instituto Nacional de Meteorología en algunos pueblos de la zona, y los de los totalizadores instalados por las compañías eléctricas, normalmente a considerable altitud. Las correlaciones precipitación-altura realizadas en los tres sectores en los que hemos dividido el alto Cinca revelan comportamientos muy diferentes entre ellos, con gradientes progresivamente menores en sentido O-E, lo cual queda reflejado en el mapa de isoyetas.

SUMMARY.- Upper Cinca basin, located on the southern side of the Pyrenees, is a rugged topography area with abundant average precipitation where an important altitudinal gradient is observed. It is very important, for the pluviometric description, to make use of data originated from different heights. We have used the data from the Meteorologic National Institute (INM) raingages, located in some villages of the area, and from the totalizers set up by the electric power companies at great heights. The rainfall-height correlations done for the three areas in which we have divided Upper Cinca basin show different performance, with gradients becoming less and less intensive from W to E, which is shown in the annual mean rainfall map.

RÉSUMÉ.- La haute vallée du Cinca, située dans le versant méridional des Pyrénées centrales, est une zone de relief accidenté avec des précipitations abondantes où l'on observe un gradient d'altitude importante. Pour la caractérisation pluviométrique il est très important disposer des données qui soient obtenues à des altitudes différentes. Pour cela nous avons utilisé les collectes des pluviomètres de

l'Institut national de météorologie prises en quelques villages de la région, et celles provenant des totalizateurs déjà installés para les compagnies d'électricité, lesquelles se trouvent à une altitude élevée. Les corrélations précipitation-altitude réalisés dans le Haut-Cinca mettent en évidence des comportements très différents entre les trois secteurs étudiés, avec des gradients progressivement moins accentués d'O en E., ce qui est montré dans la correspondante carte des isohyètes.

1. Introducción

Es de sobras conocido que la precipitación media aumenta en las zonas de montaña respecto al entorno próximo. Este hecho claro, en ocasiones es difícilmente cuantificable debido a la escasez de pluviómetros con series largas y continuas instalados en altura, pues en la mayoría de los casos éstos se encuentran instalados en los pueblos, y por lo tanto en los valles o medias laderas. Este hecho obliga a deducir la precipitación que reciben las zonas elevadas estableciendo correlaciones entre la precipitación y la altitud de estos pluviómetros localizados en cotas bajas, lo que es fiable (siempre que el coeficiente de correlación sea elevado) hasta una cierta altitud, a partir de la cual no se puede asegurar que la recta de regresión obtenida refleje el comportamiento de la precipitación. El margen de incertidumbre es, por lo tanto, muy amplio, por lo que es de gran ayuda disponer de series de datos obtenidos en alta montaña, para así poder establecer correlaciones más generales y disminuir en lo posible el margen de error.

Otro problema que nos encontramos al caracterizar pluviométricamente las zonas de montaña es el de las marcadas diferencias que en ocasiones se producen entre áreas próximas, debido a su diferente orientación respecto a los vientos húmedos, la presencia de barreras topográficas, etc. Como consecuencia, en ocasiones es difícil obtener un buen ajuste precipitación-altitud, o se observan lugares notablemente separados de la recta de regresión, cuyas características pluviométricas particulares responden, en buena medida, a razones de localización o topografía local.

2. Área de estudio

El sector alto de la cuenca del Cinca se localiza en la vertiente meridional del Pirineo Central. Limita al N con Francia (cuenca atlántica del Garona), de la que está separada por importantes macizos y cordales montañosos. Al O está limitada por la cuenca del Gállego (concretamente por las cuencas de sus

afluentes Caldarés y Sía). Su límite oriental lo señalan las cuencas del Noguera Ribagorzana y del Garona en su extremo nororiental, al cual fluye por vía subterránea una parte de lo que superficialmente corresponde con la cabecera del Ésera, sector que hemos incluido en el presente estudio.

El límite meridional no es tan claro como los límites geográficos y en algunos casos administrativos que hemos descrito hasta el momento, por lo que lo hemos tenido que definir previamente. Hemos considerado la desembocadura del río Chate, afluente del Ara y de los congostos de Las Devotas en el Cinca y el Ventamillo en el Ésera. En estos dos últimos casos los mencionados estrechos indican barreras orográficas claras que separan zonas de características paisajísticas diferentes. En el caso del Ara no hay ningún obstáculo tan marcado hasta la cerrada de Jánovas, mucho más al sur, y la transición paisajística a lo largo de su recorrido es mucho más progresiva, por lo que el límite señalado es algo más arbitrario.

La zona considerada se caracteriza por una topografía de fuertes relieves. En ella se localizan algunos de los macizos montañosos más importantes de la cordillera, tales como los de las Tres Sorores, entre las cabeceras del Cinca y del Arazas, Posets, entre las del Cinqueta y el Ésera, Aneto-Maladeta, al E de la del Ésera, o Vignemale, al E de la cabecera del Ara. Entre ellos se abren profundos valles en algunos casos bastante cerrados por estos y otros macizos montañosos y sierras. Así, el resultado es un territorio muy compartimentado y con una fuerte energía de relieve, con importantes altitudes que superan en numerosos puntos los 3000 m e incluso los 3300 m en los macizos mencionados, entre los que se desarrollan valles que en buena parte localizan su fondo entre 1000 y 1500 m. Esta abrupta y compartimentada orografía es responsable en buena medida de diferencias climáticas muy destacables según la altitud, la orientación, la exposición a los vientos húmedos dominantes, etc. Para su análisis detallado sería necesario disponer de una red de observatorios, al menos termopluviométricos, mucho más densa que la actual y capaz de abarcar la media y alta montaña de la cordillera, además de los valles.

La localización de la zona de estudio en la vertiente meridional del sector central de la cordillera pirenaica permite que lleguen a ella las masas de aire responsables de la mayoría de la precipitación en la misma: las procedentes del Atlántico y las procedentes del Mediterráneo, aunque éstas tienen una menor capacidad de generar precipitación y su influencia se limita a las zonas mejor expuestas de los valles orientales, perdiendo importancia rápidamente hacia el O (CUADRAT, 1981).

3. Datos y metodología

Cuando nos planteamos el presente trabajo, partimos de los estudios ya realizados (BORDERÍAS, 1975; PLANA, 1975; PUIGDEFÁBREGAS & CREUS, 1976; CUADRAT, 1981; CREUS, 1983, 1987 Y GARCÍA RUIZ *et al.*, 1985), y nos propusimos calcular la precipitación media anual del sector alto de la cuenca del Cinca dividiéndolo en las cuatro subcuencas que lo componen (Ara, Cinca, Cinqueta y Ésera), hallando para cada una de ellas por separado la correlación entre la precipitación media anual y la altitud mediante el método que ofreciera mejor ajuste, para así obtener información detallada sobre las características pluviométricas de cada una de ellas.

La metodología de hallar gradientes de precipitación-altitud por cuencas hidrográficas ya fue utilizada por GARCÍA RUIZ *et al.* (1985) en su estudio sobre los recursos superficiales del Alto Aragón. También posteriormente MARÍN (1988) en su "Estudio hidrológico de la cuenca alta y media del Gállego" empleó la delimitación natural de la cuenca hidrográfica de este río, y por lo tanto de dicha correlación. Así mismo del VALLE (1996) para analizar la precipitación del Prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos aplicó este método a la zona de estudio.

A nuestro juicio permite conseguir un mayor grado de detalle en la caracterización pluviométrica de la zona estudiada que la aplicación de una correlación regional única, pues posibilita tener en cuenta las divisorias de aguas que pueden influir en las condiciones pluviométricas según la procedencia de los vientos húmedos dominantes, especialmente si estas divisorias presentan relieves destacados, como suele ocurrir en las áreas de montaña. Por ello, nos parece adecuada su utilización en el presente trabajo, máxime cuando éste pretende, partiendo de los estudios previos, aportar un mayor grado de detalle al conocimiento de las características pluviométricas de esta zona.

Para conseguir unas correlaciones lo más reales posibles, consideramos importante incluir en ellas los datos de los pluviómetros totalizadores colocados por las compañías de electricidad, pues los observatorios del Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.) se localizan en su mayor parte en los pueblos situados en los valles, por lo que no ofrecen datos del territorio situado a mayor altitud. Estos pluviómetros totalizadores no ofrecen un cubrimiento completo y regular del espacio de media y alta montaña, pero aportan las únicas series de precipitación con alguna continuidad por encima de los 1500 m, por lo que son muy útiles para complementar con sus datos a los observatorios pluviométricos localizados en los valles.

Por lo tanto, hemos utilizado dos fuentes de datos:

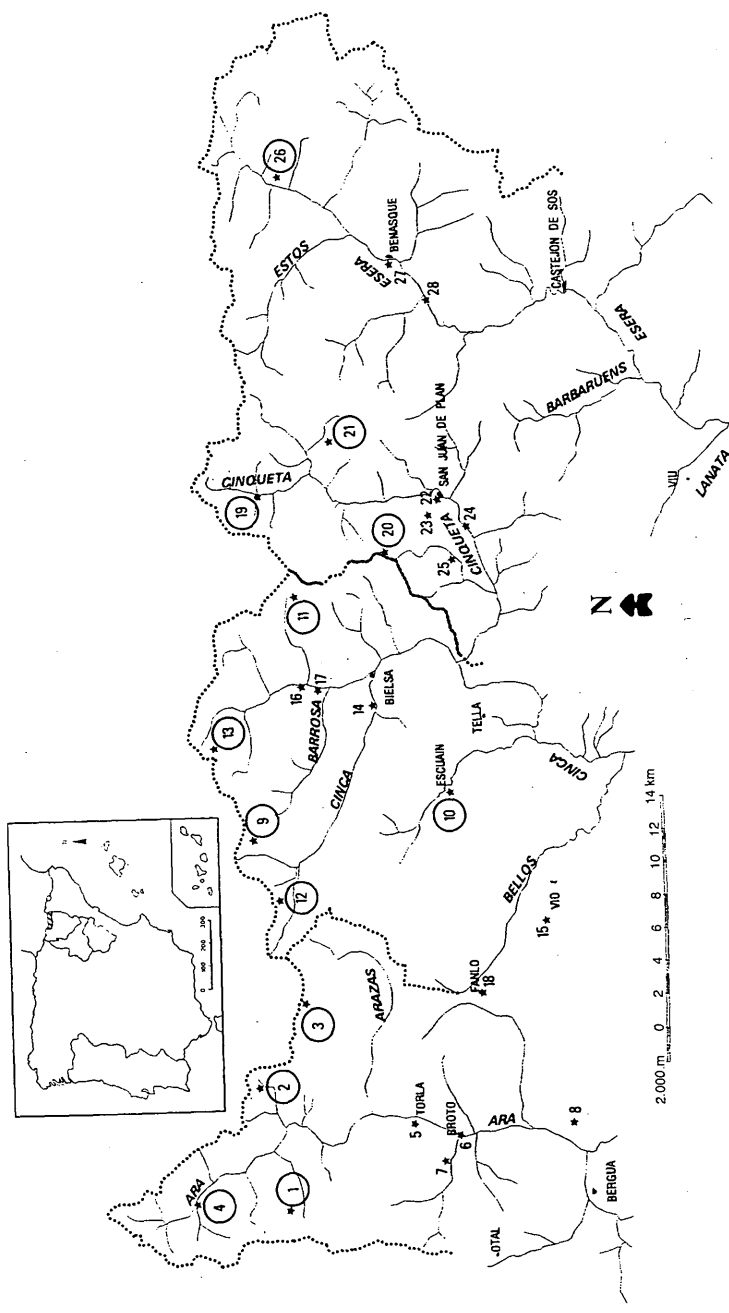
a) *Datos de los pluviómetros del Instituto Nacional de Meteorología*

Hemos seleccionado a más de 1000 m en el sector alto de la cuenca, y hemos considerado el periodo 1961-1990 siempre que ha sido posible, y si no ha podido ser, hemos utilizado quince años, correspondientes con la primera o la segunda quincena de la treintena señalada.

Los observatorios y los periodos de datos que hemos utilizado son los siguientes:

- Valle del Ara
 - Torla (mapa 1: n.º 5). 1053 m. Serie 61 - 90.
 - Broto (mapa 1: n.º 6). 1005 m. Serie 61 - 90.
 - Fragen (mapa 1: n.º 7). 1113 m. Serie 76 - 90.
 - Asín de Broto (mapa 1: n.º 8). 1103 m. Serie 61 - 90 (1961 y 1962 fueron rellenados mediante correlación).
 - Refugio de Góriz: fue desechado por disponer de una serie demasiado corta.
- Valle del Cinca
 - Pineta «Presa»(mapa 1: n.º 14). 1150 m. Serie 61-90.
 - Buerba (mapa 1: n.º 15). 1143 m. Serie 61-90.
 - Barrosa «Central»(mapa 1: n.º 16). 1200 m. Serie 61-90.
 - Parzán (mapa 1: n.º 17). 1050 m. Serie 61-90 (1961 y 1962 fueron rellenados mediante correlación).
 - Farlo del Valle de Vió (mapa 1: n.º 18). 1320 m. Serie 61-75.
- Valle del Cinqueta
 - Plandescún «Presa» (mapa 1: n.º 24). 1100 m. Serie 61-90
 - Sin (mapa 1: n.º 25). 1248 m. Serie 61-90 (1961 fue rellenado mediante correlación).
 - Gistain (mapa 1: n.º 23). 1422 m. Serie 61-90 (1961 fue rellenado mediante correlación).
 - San Juan de Plan (mapa 1: n.º 22). 1124 m. Serie 61-90 (1961 y 1962 fueron rellenados mediante correlación).
- Valle del Ésera
 - Benasque «Vivero» (mapa 1: n.º 27). 1136 m. Serie 61-75.
 - Eriste «Central» (mapa 1: n.º 28). 1100 m. Serie 61-90 (desde enero de 1961 hasta abril de 1964 fue rellenado mediante correlación).

Sus datos de precipitación media anual aparecen en la Tabla 1 y su localización en el Mapa 1.



Mapa 1. Localización de los observatorios utilizados (según numeración de tabla 3).

Pluviómetro *1

Totalizador *20

Used observatories localization (according to numeration in table 3).

Raingages *1

Totalizador *20

Cuenca del Ara				Cuenca del Cinca				Cuenca del Cinqueta				C. del Esera	
Torta	Broto	Fragen	Asín	Pneia	Buerba	Barrosa	Paradán	Fundo	Planesc.	Sin	Clitash	S.J.Plan	Bonsaq.
61-62	1482,3	1401,9	1258,1	1737,4	1464,4	1451,7	1397,3	1375,6	1183,6	1205,6	1263,5	1228,2	1389,9
62-63	1372,6	1208,6	1090,9	1585,6	1372,1	1388,3	1352,9	1496,0	1044,5	1134,5	1266,5	1031,4	1306,3
63-64	1592,7	1526,5	1385,2	2355,1	1868,6	1909,6	2262,9	1764,4	1662,6	1838,9	1935,3	1659,0	1996,6
64-65	869,6	920,3	901,3	1031,4	867,4	1060,8	1024,7	959,4	853,2	944,2	986,9	869,9	867,9
65-66	1699,8	1736,1	1403,5	1906,4	1611,7	1734,0	1715,5	2601,0	1501,2	1664,0	1796,6	1592,1	1499,2
66-67	1292,8	1312,1	1094,2	1583,1	1341,3	1279,8	1265,0	1835,9	1382,9	1311,6	1399,4	1379,4	1182,6
67-68	1279,4	1247,7	1178,8	1458,2	1370,5	1496,9	1426,7	2011,5	1310,0	1422,3	1475,9	1377,9	1153,3
68-69	1727,9	1656,3	1502,8	1840,3	1639,7	1691,2	1630,5	1894,4	1582,6	1692,5	1630,1	1452,6	1207,0
69-70	1211,3	1125,4	1111,4	1244,9	1125,8	1302,0	1452,5	1404,0	1216,7	1200,5	1418,5	1202,5	1260,0
70-71	1369,4	1313,0	1289,1	1479,1	1384,5	1510,7	1615,4	1638,0	1529,7	1479,7	1703,6	1354,5	1327,0
71-72	1339,1	1166,1	1130,1	1232,3	1253,6	1336,9	1418,8	1762,9	1276,5	1249,0	1448,7	1156,4	828,8
72-73	1302,8	1153,8	1215,9	1308,3	1253,8	1329,9	1391,4	1320,5	1390,6	1259,5	1460,7	1236,0	1287,8
73-74	1333,4	1175,9	1159,8	1375,9	1388,0	1257,5	1232,7	1422,8	1419,5	1204,9	1358,0	1341,8	1220,0
74-75	1165,8	1024,9	982,4	1258,5	844,1	1321,3	1255,6	1559,0	1274,7	1692,8	1359,7	1325,3	1113,0
75-76	984,7	786,6	938,3	954,4	734,4	956,2	1001,0	936,4	999,9	877,5	1096,1	928,5	640,5
76-77	1728,9	1316,7	1627,0	1736,2	1417,6	1740,7	1780,9		1639,7	1549,5	1778,3	1528,9	1393,6
77-78	1751,4	1285,8	1462,4	1234,5	1490,7	1516,8	1479,9	1607,6	1285,8	1227,8	1682,8	1451,0	1322,7
78-79	1782,5	1547,3	1741,6	1484,7	1609,7	1456,9	1502,0	1589,9	1295,2	1392,4	1702,0	1540,2	1305,7
79-80	1104,9	933,4	1094,2	869,4	1172,2	1060,9	1245,9	1111,1	1039,9	1054,6	1207,4	1119,4	858,4
80-81	1049,4	862,2	1053,2	714,6	1143,0	911,5	1097,9	1175,2	902,5	782,0	1077,0	1071,7	1041,0
81-82	1217,7	1098,0	1186,8	1149,2	1122,0	1089,3	1217,5	1076,8	990,8	1012,0	1151,0	1073,9	1005,6
82-83	1353,9	1129,2	1288,0	1042,9	1330,8	1159,8	1528,0	1526,5	1592,0	1113,7	1788,1	1668,5	1178,6
83-84	1072,6	969,3	987,0	978,8	1054,0	1045,7	1131,2	1126,6	1022,9	950,0	1010,7	951,3	857,2
84-85	1295,1	1198,5	1160,8	1063,3	1161,7	1091,8	1316,7	1356,1	1141,4	1111,0	1110,7	1025,7	994,1
85-86	1105,8	994,5	1020,8	821,4	1005,6	976,5	1213,3	1081,2	1051,5	1066,0	1090,5	1060,9	989,4
86-87	1004,9	878,0	899,0	808,5	1067,3	974,0	914,8	904,1	938,0	901,9	974,4	836,4	836,2
87-88	1935,0	1786,6	1722,6	1631,6	2107,5	1883,5	1754,4	1925,5	1414,1	1457,3	1623,2	1644,7	1552,9
88-89	873,4	768,7	743,6	627,4	897,6	709,9	766,9	894,9	753,4	785,5	818,5	846,7	751,4
89-90	1209,0	1052,7	1158,7	921,7	1406,6	1061,2	1252,5	1296,2	1036,4	1084,5	1190,8	1135,6	875,9
90-91	1102,4	986,5	988,4	891,7	1081,9	913,3	939,2	592,4	825,1	863,9	1006,2	931,0	667,5
Media	1320,4	1185,4	1208,9	1107,8	1391,3	1226,3	1337,6	1359,6	1218,6	1218,3	1360,5	1234,0	1218,7

Tabla 1. Precipitación anual en los pluviómetros (mm).
Annual precipitation in the rainages (mm).

b) *Datos tomados por los totalizadores colocados en altura por las compañías de electricidad*

La toma de estos datos la realizan una vez al año (normalmente el 1 de julio) las compañías de electricidad, y su fiabilidad es algo menor que la de los pluviómetros de lectura diaria del I. N. M., porque aunque se intente minimizar, siempre hay algo de evaporación, o los pluviómetros sufren pérdidas por otras causas. No obstante, algunos de ellos ofrecen series relativamente largas, y son interesantísimos para la caracterización pluviométrica de estas montañas.

Los pluviómetros que hemos utilizado fueron instalados por Iberduero (posteriormente denominada Iberdrola), datos que fueron enviados posteriormente a Eléctricas Reunidas de Zaragoza (E. R. Z.) al comprar esta compañía los derechos de explotación del Cinca. Hemos de señalar, no obstante, que el situado en el Ésera (Baños de Benasque) fue instalado por Energía e Industrias Aragonesas (E. I. A.) S. A., posteriormente E. A. S. A., compañía absorbida por E. R. Z., por lo que todos los datos nos han sido facilitados por Eléctricas Reunidas de Zaragoza. Son los siguientes:

- Valle del Ara
 - Otal (mapa 1: n.º 1). 1862 m. Serie: Julio 61-Junio 91
 - La Pazosa (mapa 1: n.º 2). 2230 m. Serie: Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 61-Junio 65)
 - Brecha de Rolando (mapa 1: n.º 3). 2310 m. Serie: Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 61-Junio 64 y Julio 82-Junio 86).
 - Los Batanes (mapa 1: n.º 4). 2000 m. Serie Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 61-Junio 63)
- Valle del Cinca
 - La Larri (mapa 1: n.º 9). 2500 m. Serie Julio 63-Junio 82.
 - Escuin (mapa 1: n.º 10). 1340 m. Serie Julio 73-Junio 91
 - Urdiceto (mapa 1: n.º 11). 2360 m. Serie Julio 61-Junio 91
 - Lago Marboré (mapa 1: n.º 12). 2590 m. Serie Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Jul 61-Jun 62 y Jul 64-Jun 65)
 - Puerto Viejo (mapa 1: n.º 13). 2030 m. Serie Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 61-Junio 63 y Julio 66-Junio 67)
- Valle del Cinqueta
 - Puerto La Pez (mapa 1: n.º 19). 1800 m. Serie Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Jul 61-Jun 62)
 - Cruz de Guardia (mapa 1: n.º 20). 2120 m. Serie Julio 61-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 61-Junio 65 y Julio 67-Junio 68)
 - Millares (mapa 1: n.º 21). 2390m. Serie Julio 61-Junio 91.
- Valle del Ésera
 - Baños de Benasque (mapa 1: n.º 26). 1720 m. Serie: Julio 62-Julio 63 y Julio 76-Junio 91 (rellenado por correlaciones Julio 76-Junio 77 y Julio 89-Junio 90)

Sus datos de precipitación anual aparecen en la Tabla 2.

En primer lugar hemos realizado una homogeneización lo mayor posible de las series de los pluviómetros del I. N. M. y los totalizadores de las compañías eléctricas, aunque aquí nos hemos encontrado con alguna dificultad:

Los totalizadores no miden la cantidad de precipitación total del año civil, sino que sus mediciones se realizan normalmente el 1 de julio, por lo que no coinciden con las series anuales de los pluviómetros. Por ello, en los pluviómetros del I. N. M. hemos utilizado las medias de precipitación desde julio hasta junio, para así hacerlas coincidentes con los datos de los totalizadores, por lo que las series abarcan desde julio de 1961 hasta junio de 1991. En los casos en los que no ha sido posible disponer de toda la treintena y sólo se han utilizado quince años, las series terminan o comienzan en junio de 1976 (Tabla 1).

En las series con las que hemos trabajado hemos encontrado algunas faltas de datos debido a diversas causas, que han sido rellenadas mediante correlaciones:

- En los datos de los pluviómetros del I. N. M. los huecos de algunos meses han sido rellenados mediante correlaciones lineales con observatorios próximos, en los que se han obtenido coeficientes de correlación muy altos. Así se han completado las series elegidas y se han hallado las precipitaciones medias anuales.
- En los pluviómetros totalizadores algunos años no se han realizado lecturas, en la mayoría de los casos por encontrarlos rotos o deteriorados. Hemos realizado correlaciones lineales con totalizadores próximos, obteniendo también buenos resultados, lo que nos ha permitido completar sus series de observación.

Los datos obtenidos mediante correlación aparecen en las tablas 1 y 2 en **negrita** y con un sombreado.

Una vez homogeneizadas las series, hemos realizado las correlaciones entre la altitud y la precipitación media anual. Para ello, hemos dividido la zona en sectores, correspondientes con las cuencas fluviales del Ara, Cinca, Cinqueta y Ésera, estableciendo dicha correlación para cada uno, aunque debido al escaso número de observatorios situados en el Ésera, hemos unido este sector con el del Cinqueta (Tabla 3).

En cada uno de los sectores hemos realizado una correlación lineal y otra logarítmica, obteniendo diversos coeficientes de correlación, como después analizaremos.

Una vez realizada las correlaciones precipitación-altitud en cada sector mencionado, hemos hallado la correlación regional utilizando todos los pluviómetros, tanto totalizadores como de lectura diaria, utilizados en el trabajo. Finalmente, usando las correlaciones que mayor ajuste han ofrecido en cada sector (lineal o logarítmica), hemos dibujado el mapa de isoyetas del Alto Cinca.

	Cuenca del Ara				Cuenca del Cinca				Cuenca del Cinqueta				C.Èsera
	Otal	La Pazosa	Bre.Roland	Batanes	Lg Lalarri	Escualin	Urdiceto	Lg.Marbor	Pto Viejo	Pto. La Pez	Cruz de G.	Millares	Bañ. Benas
61-62	2185	1922	1913	1327	1957		1676	1893	1465	1443	1310	1401	
62-63	2460	2256	2086	1472	2282		1950	2293	1653	1676	1497	1970	
63-64	2695	2481	2234	1784	2734		2283	2617	1881	1823	1725	2352	
64-65	1382	1221	1460	1156	2117		1901	2206	1245	1470	1464	1480	
65-66	3097	3518	2803	2087	2185		1970	2225	1686	1695	1774	2264	
66-67	2724	2078	1950	1166	2176		1744	1823	1512	1970	1137	1774	
67-68	2803	2362	2705	2166	2509		2342	2558	1823	1921	1765	2244	
68-69	2499	2440	2264	1578	2323		2136	2460	1793	1676	1480	1872	
69-70	2401	1842	1872	1235	2068		1744	1725	1901	1578	1382	1431	
70-71	2813	2332	2166	1578	2097		2185	2097	1784	1744	1627	1950	
71-72	2215	2019	1931	1411	2215		1735	1921	1656	1725	1480	1872	
72-73	2323	1686	1803	1186	1627		1558	1659	1480	1548	1264	1480	1145
73-74	2352	2048	2097	1303	1284	1460	1735	1872	1382	1450	1284	1813	
74-75	1999	2509	1921	1215	2705	1284	1627	1852	1431	1578	1215	1372	
75-76	1490	1245	1392	855	1382	1137	1303	1431	1039	1088	963	1088	
76-77	2950	2607	2166	1578	2087	1813	1823	2411	1784	1764	1656	1921	2130
77-78	2479	2558	2117	1519	4086	1597	1725	2215	1548	1480	1186	1597	2157
78-79	2852	3538	4557	1480	1950	2087	2166	3126	1705	1872	1558	1578	2007
79-80	1882	1989	2185	1284	1588	1186	1705	1715	1441	1460	1362	1147	1232
80-81	1774	1627	1940	1313	2019	1205	1715	1970	1382	1480	1294	1137	1757
81-82	2264	2323	2362	1578	2332	1372	1725	2313	1676	1578	1676	1578	1157
82-83	2813	2362	2308	1901		1490	1725	2421	1480	1529	1529	1676	1982
83-84	1970	1578	1777	990		1284	1568	1294	1107	1225	1117	1107	1507
84-85	2479	2460	2098	1431		1401	1617	2038	1480	1597	1000	1754	1957
85-86	1980	1989	1784	1186		1225	1715	1627	1137	1126	1137	981	1057
86-87	2313	1891	1774	1382		1421	1529	2048	1411	1529	1205	1372	1707
87-88	3146	2568	2509	1725		1901	2087	2852	2068	1578	1539	1862	2207
88-89	1480	1264	1245	855		1186	1186	1235	1166	1000	972	1137	1257
89-90	2068	1627	1676	1284		1362	1401	1509	1421	1205	1039	1147	1341
90-91	2215	1725	1382	1186		1235	1352	1058	1235	1274	1205	1147	1207
Media	2337	2136	2083	1394	2177	1425	1764	2015	1526	1536	1361	1583	1613

Tabla 2. Precipitación anual en los totalizadores (mm).
Annual precipitation in the totalizators (mm).

LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN EL SECTOR ALTO DE LA CUENCA DEL CINCA

Cuenca del Ara			
	Nº	Altitud	Prec.
Otal	1	1862	2337
La Pazosa	2	2230	2136
B.Rolando	3	2310	2083
Los Batanes	4	2000	1407
Torla	5	1053	1326
Broto	6	1005	1189
Fragen	7	1113	1216
Asín de Bro	8	1103	1110
Cuenca del Cinca			
		Altitud	Prec.
La Larri	9	2500	2177
Escuain	10	1340	1425
Urdiceto	11	2360	1764
Lag. Marbor.	12	2590	2015
Puerto Viejo	13	2030	1526
Pineta	14	1150	1400
Buerba	15	1143	1227
Barrosa Cen	16	1200	1347
Parzán	17	1050	1377
Fanlo	18	1320	1613
Cuenca del Cinqueta			
		Altitud	Prec.
Pto. La Pez	19	1800	1536
Cruz Guard	20	2120	1361
Millares	21	2390	1583
S.J. Plan	22	1124	1237
Gistain	23	1422	1366
Plandesc	24	1100	1222
Sin	25	1218	1229
Cuenca del Ésera			
		Altitud	Prec.
Bañ. Benas	26	1720	1644
Benas Viv	27	1130	1213
Eriste	28	1100	1125

Tabla 3. Altitud (m) y precipitación media anual (mm) de pluviómetros y totalizadores
Raingages and totalizators height (m) and annual average precipitation (mm).

4. Resultados

La precipitación media anual

El Alto Cinca es una zona que recibe abundantes precipitaciones, las cuales aumentan notablemente con la altura, aunque con diferencias según los sectores, como desarrollaremos más adelante.

En los valles, donde se sitúan los principales núcleos de población y en ellos la mayoría de los pluviómetros instalados por el I. N. M., la precipitación supera los 1200 mm:

Fragen, en el Ara, a 1113 m recoge 1209 mm de precipitación media. Buerba, en el Cinca, a 1143 m, 1226 mm, San Juan de Plan, en el Cinqueta, a 1124 m, 1234 mm, y Benasque «Vivero», en el Ésera, a 1130 m, 1219 mm.

Estas cantidades se incrementan notablemente con la altitud:

El totalizador de Los Batanes, en el Ara, recoge 1394 mm de media a 2000 m. El del Puerto Viejo, en el Cinca, 1526 mm a 2030 m. El del puerto de La Pez, en el Cinqueta 1536 mm a 1800 m, y el de Los Baños de Benasque, en el Ésera 1613 mm a 1720 m..

En cotas superiores las cantidades son las siguientes:

El totalizador de La Pazosa, en el Ara, a 2230 m recoge 2136 mm. El de La Larri, en el Cinca, a 2500 m recibe 2177 mm. El de Los Millares, en el Cinqueta, a 2390 m registra 1583 mm.

La Precipitación y la altitud

En el Alto Cinca la precipitación aumenta considerablemente al ganar altura. En conjunto, si observamos la correlación precipitación-altitud realizada entre todos los observatorios (tanto pluviómetros como totalizadores) utilizados en el trabajo (Gráfico 1) obtenemos un coeficiente de 0.7831 en la correlación lineal y de 0.7830 en la logarítmica, que podemos considerar muy significativo del aumento general de las lluvias a medida que ascendemos.

Según la correlación lineal, que muestra un coeficiente ligerísimamente superior a la logarítmica:

- A 1500 m de altitud se registrarían 1457 mm anuales.
- A 2000 m de altitud se registrarían 1709 mm anuales.
- A 2500 m de altitud se registrarían 1962 mm anuales.

Según la correlación logarítmica, la precipitación media anual a idéntica altitud sería:

- A 1500 m de altitud se registrarían 1498 mm anuales.
- A 2000 m de altitud se registrarían 1736 mm anuales.

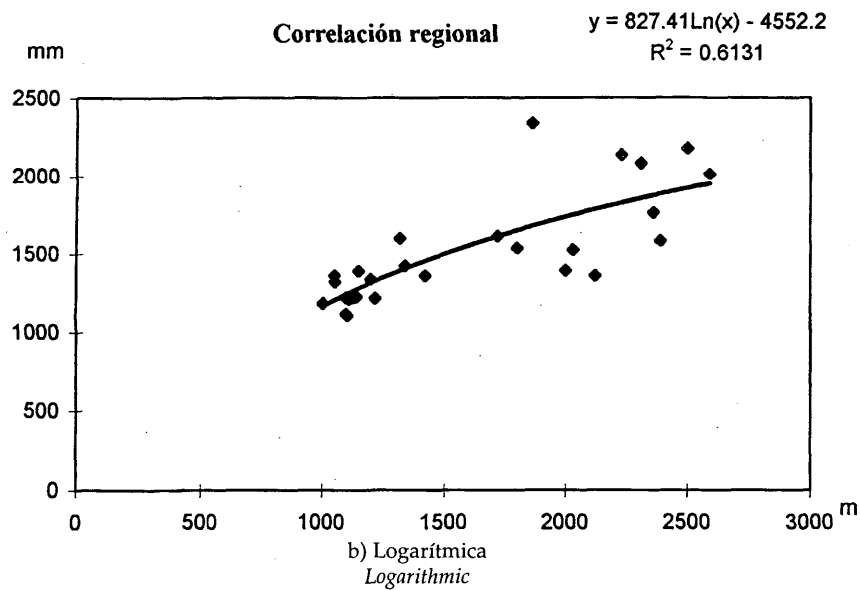
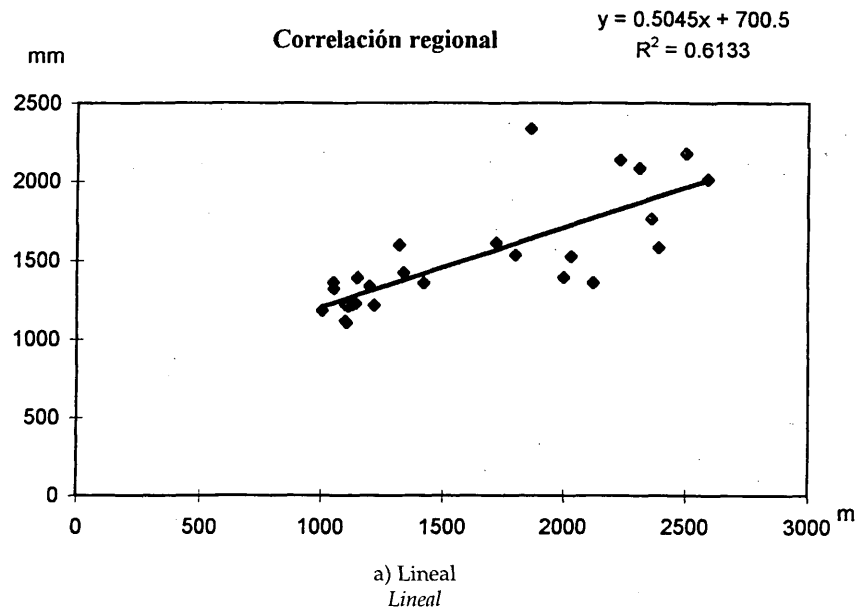


Gráfico 1. Correlación precipitación-altitud en la zona de estudio.
Precipitation-height correlation in the studied area.

- A 2500 m de altitud se registrarían 1921 mm anuales.

Sin embargo, consideramos interesante analizar por sectores las variaciones de la precipitación con la altitud, pues muestra comportamientos diferenciados:

— *En la cuenca del Ara* el coeficiente de correlación logarítmica es de 0.820, que podemos considerar muy bueno (Gráfico 2). Es algo superior al hallado utilizando la correlación lineal (0.816), por lo cual es el que hemos utilizado para trazar las isolíneas en este sector (Mapa 2). Según esta correlación:

- A 1500 m de altitud se registrarían 1600 mm anuales.
- A 2000 m de altitud se registrarían 1922 mm anuales.
- A 2500 m de altitud se registrarían 2171 mm anuales.

El coeficiente de correlación obtenido es muy alto, pero hay dos observatorios que se separan notablemente de la curva de regresión, lo que merece algún comentario:

- El totalizador de Otal, que a 1862 m recibe una precipitación media de 2337 mm presenta una clara desviación positiva respecto a la curva de regresión.
- El totalizador de Los Batanes, que a 2000 m recoge 1407 mm, presentando una desviación negativa respecto a la curva de regresión.

No hemos encontrado indicios suficientes para considerar estos observatorios poco fiables, por lo que los hemos utilizado como el resto, pero sus desviaciones respecto a la curva de regresión merecen una explicación:

El totalizador de Otal se encuentra en el valle del mismo nombre (afluente del Ara por su margen derecha) en la vertiente N de sierra Tendeñera, murallón topográfico de considerable altitud y marcada disposición O-E que puede ejercer una influencia sobre las masas de aire húmedas que vienen del NO, reforzando la inestabilidad y favoreciendo la precipitación, lo que se traduce en un aumento de la cantidad de lluvia de ámbito local.

El totalizador de Los Batanes se encuentra a 2000 m de altura pero en el fondo del valle de Bujaruelo y próximo a su cabecera, muy cerrada por macizos montañosos (Vignemale al N y NE, etc.)

— *En la cuenca del Cinca* el coeficiente de correlación lineal asciende a 0.901 (Gráfico 3), mientras el de correlación logarítmica es de 0.886. Por lo tanto, el primero es el que hemos empleado para calcular la precipitación a diferentes cotas y trazar las isoyetas (Mapa 3). Según estos resultados:

- A 1500 m de altitud se registrarían 1506 mm anuales.
- A 2000 m de altitud se registrarían 1730 mm anuales.
- A 2500 m de altitud se registrarían 1955 mm anuales.

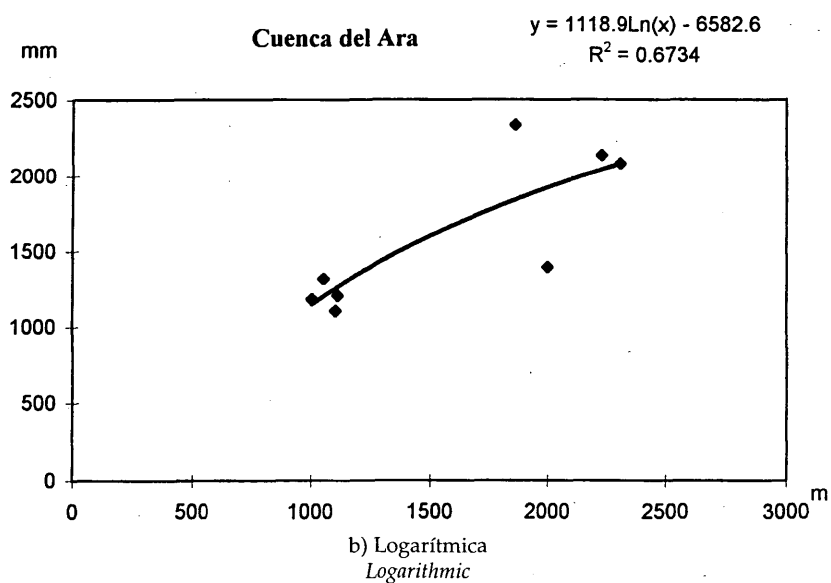
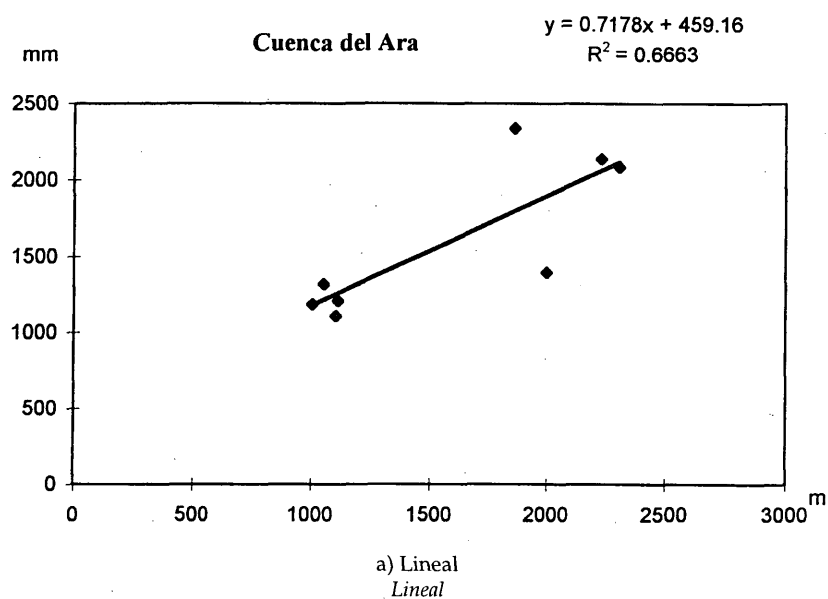
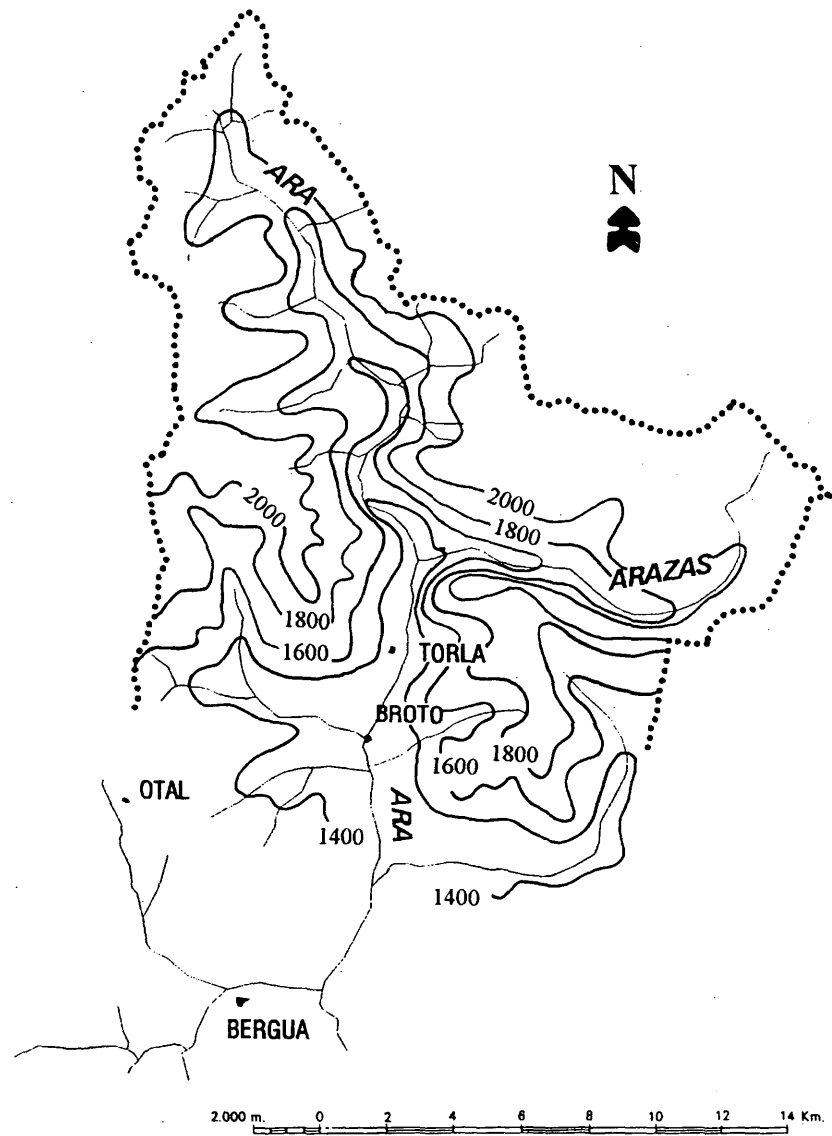
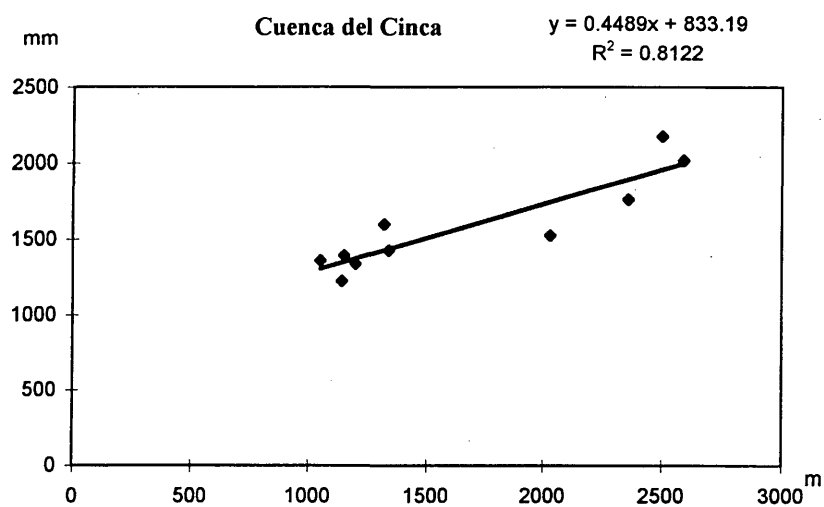


Gráfico 2. Correlación precipitación-altitud en la cuenca del Ara.
Precipitation-height correlation in Ara basin.

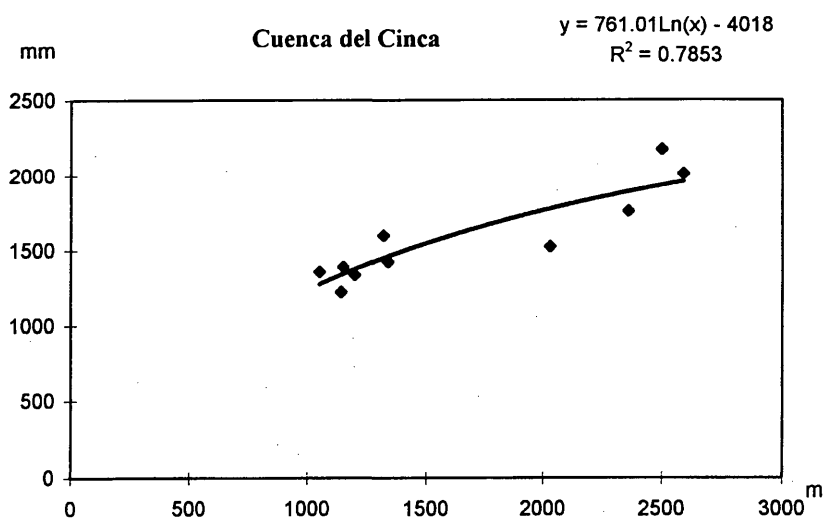


Mapa 2. Precipitación media anual (mm) en la cuenca alta del Ara.
Upper Ara basin annual average precipitation (mm).

LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN EL SECTOR ALTO DE LA CUENCA DEL CINCA

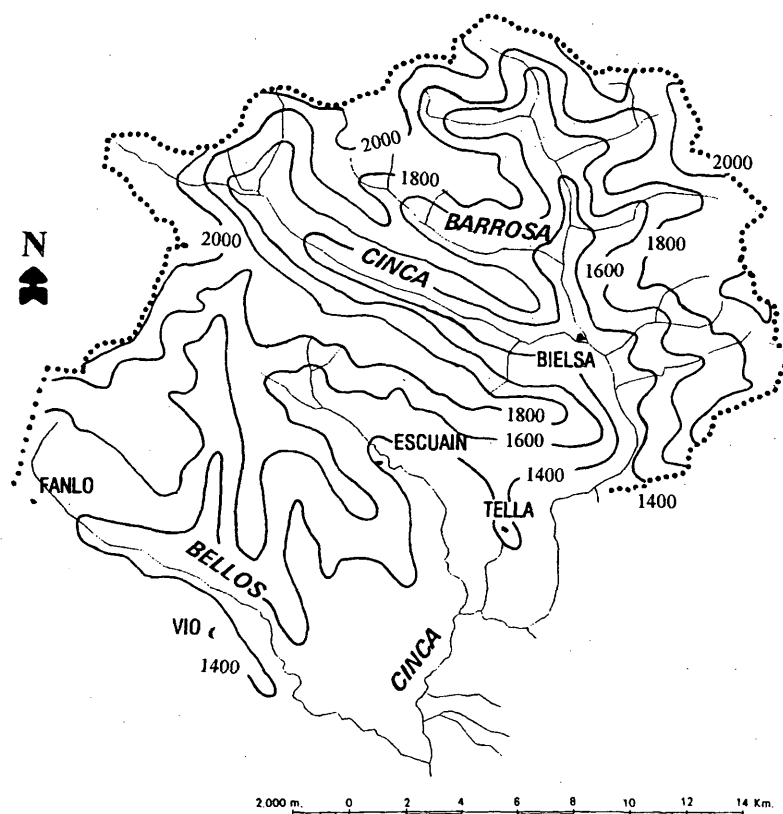


a) Lineal
Lineal



b) Logarítmica
Logarithmic

Gráfico 3. Correlación precipitación-altitud en la cuenca del Cinca.
Precipitation-height correlation in Cinca basin.



Mapa 3. Precipitación media anual (mm) en la cuenca alta del Cinca.
Upper Cinca basin annual average precipitation (mm).

En esta cuenca ningún pluviómetro se separa de forma apreciable de la línea de ajuste, sólo podemos mencionar una cierta separación negativa respecto a ella en el totalizador de Puerto Viejo, que explicamos por la localización de éste en un valle de orientación SE, muy cerrada por el O y NO por macizos y cordales montañosos (entre los que destaca el de La Munia, con 3133 m), lo que sin duda se traduce en una cierta sombra de lluvia.

El totalizador de La Larri presenta una ligera separación positiva respecto a la recta de ajuste, pero a nuestro juicio se debe a que su serie termina en la campaña 81-82, y no incluye por lo tanto la mitad de la década de los años ochenta, que en general fue bastante seca.

— En las cuencas del Cinqueta y Èsera el coeficiente de correlación logarítmica es de 0.841 (Gráfico 4), superior al de correlación lineal (0.809), por lo

LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN EL SECTOR ALTO DE LA CUENCA DEL CINCA

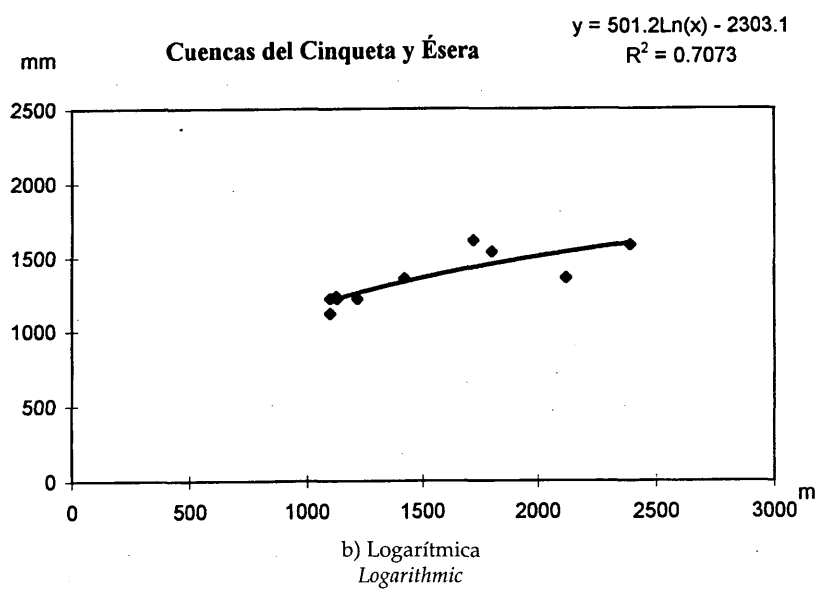
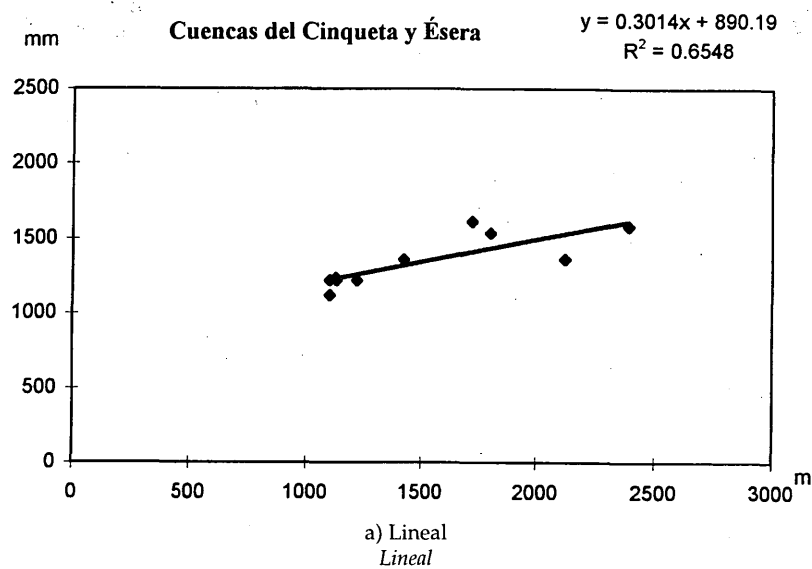
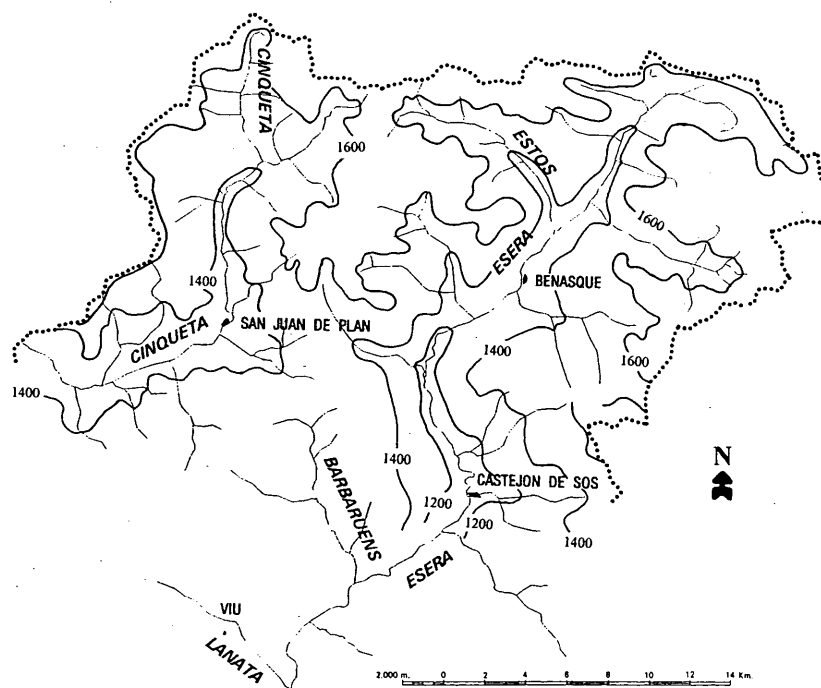


Gráfico 4. Correlación precipitación-altitud en las cuencas del Ésera y Cinqueta.
Precipitation-height correlation in Ésera and Cinqueta basins.

cual es el que hemos utilizado para trazar las isoyetas (Mapa 4). Según la ecuación de ajuste, la precipitación media anual sería:

- A 1500 m se registrarían 1362 mm.
- A 2000 m se registrarían 1506 mm.
- A 2500 m se registrarían 1618 mm.

De los observatorios considerados, dos se separan ligeramente de la línea de regresión, aunque en ningún caso de forma sustancial: El totalizador de Baños de Benasque muestra una cierta desviación positiva, probablemente debido a su localización por encima del fondo del valle, en una ladera orientada hacia el NO y por lo tanto bien expuesta a los vientos húmedos dominantes, aunque cuando llegan aquí ya han perdido buena parte de su humedad. El totalizador de la Cruz de Guardia presenta una cierta desviación negativa, que a nuestro juicio se debe a su localización en un collado muy abierto en la divisoria entre las cuencas del Cinqueta y Cinca, en el que muy probablemente se produzcan fuertes vientos y turbulencias que pueden provocar una ligera disminución local de la precipitación.



Mapa 4. Precipitación media anual (mm) en las cuencas altas del Cinqueta y del Ésera.
Upper Cinqueta and Ésera basins annual average precipitation (mm).

La zona considerada presenta, en su conjunto, un gradiente de 51 mm/100 m, aunque con diferencias entre unos valles y otros, pues resulta máximo al O (Ara) y mínimo al E (Cinqueta y Ésera). Si atendemos a los resultados de las correlaciones lineales, los gradientes por cuencas son:

- Ara: 71.8 mm/100 m.
- Cinca: 44.9 mm/100 m.
- Cinqueta y Ésera: 30.1 mm/100 m.

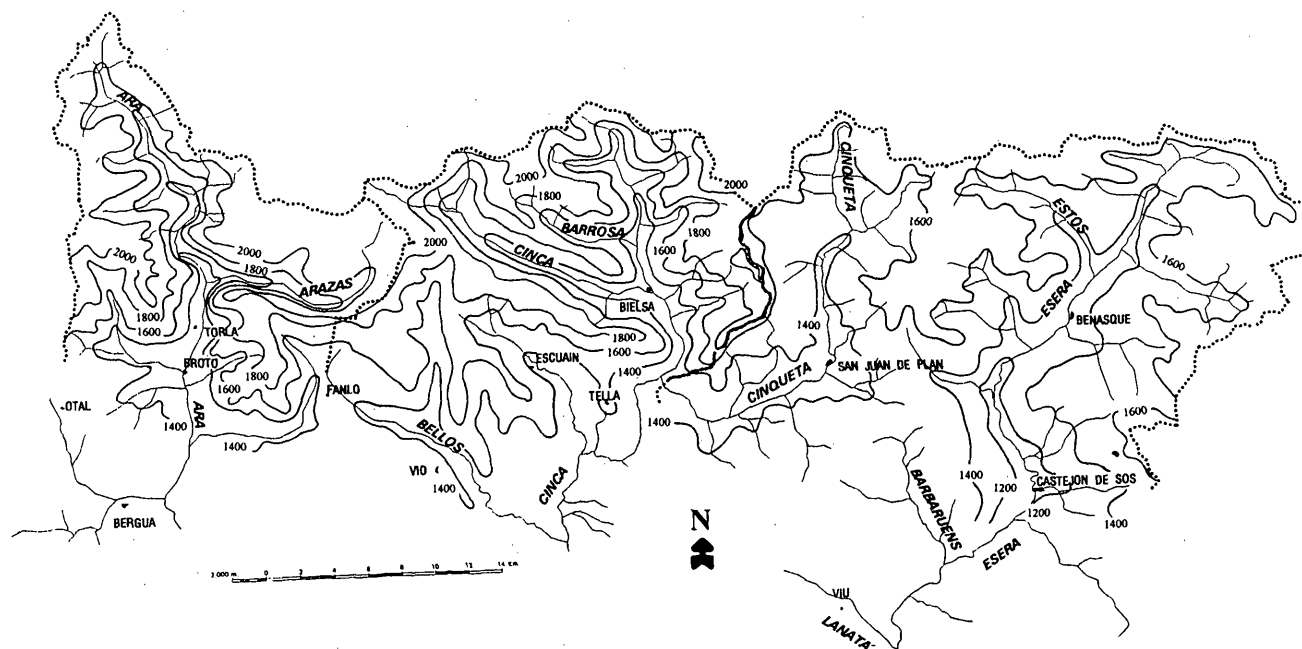
Estas cifras en algunos casos se diferencian de las obtenidas por CUADRAT (1981), quien fija el gradiente en el Cinca en 74 mm y en el Ésera en 61 mm, aunque considera los tramos situados aguas arriba de Aínsa y de Campo respectivamente, por lo que incluye un sector mayor de cada cuenca que el considerado en el presente estudio. Por el contrario el gradiente obtenido en el Ara por el citado autor (72 mm), abarcando íntegra su cuenca desde su desembocadura en Aínsa, es muy similar al nuestro.

Según estos resultados la precipitación media anual a igual altitud va disminuyendo a medida que nos desplazamos de O a E, siendo por lo tanto máxima en la cuenca del Ara y mínima en la del Ésera. Este fenómeno se justifica según la mayor o menor facilidad que presentan estas cuencas a la llegada de los vientos húmedos, que principalmente proceden del Atlántico y por lo tanto llegan desde el NO.

Cuando estas masas de aire oceánico llegan a nuestra zona, ya han atravesado una buena parte de la cordillera pirenaica, en la que han perdido una parte de su humedad, pérdida en parte compensada por la mayor altitud de la cordillera hacia el E, que refuerza los procesos de inestabilización y por lo tanto facilita que alcancen su punto de saturación.

Sin embargo, la zona de estudio limita al O precisamente con la divisoria entre las cuencas del Ara y Gállego, que constituye una importante barrera pluviométrica (GARCÍA RUIZ *et al.*, 1985). La cuenca alta del Cinca y sus dos principales afluentes Ara y Ésera, se localiza en la zona central y oriental del Pirineo Aragonés, a la que corresponden condiciones de menor pluviometría que a la occidental (GARCÍA RUIZ *et al.*, l. c.). Esta característica se va haciendo más acentuada a medida que avanzamos hacia el E, como ya hemos expuesto, aunque siempre dentro de cantidades notablemente elevadas.

La disposición general N-S de las cabeceras del Ara, Cinca, Cinqueta y Ésera supone la existencia de interfluvios de la misma dirección, que actúan como barreras de lluvia, lo que significa progresivos procesos de desecación de las masas de aire húmedas dominantes en su desplazamiento NO-SE; ello se traduce en una pluviometría progresivamente menor en sentido O-E y menores gradientes de precipitación con la altitud.



Mapa 5: Precipitación media anual (mm) en la zona de estudio.
Studied area annual average precipitation (mm).

5. Conclusiones

Los datos climáticos en las zonas de alta montaña son escasos, lo que supone un serio condicionamiento para el detallado conocimiento de las condiciones climáticas de nuestras cordilleras, especialmente en sus sectores más elevados.

— Los totalizadores colocados por las compañías de electricidad en cotas elevadas son muy importantes para conocer las condiciones pluviométricas de estas montañas, pues complementan los datos obtenidos por los pluviómetros del I. N. M. localizados en los pueblos, y por lo tanto en cotas más bajas.

— En el Alto Cinca las precipitaciones son bastante abundantes y aumentan notablemente con la altitud. No obstante, este aumento presenta gradientes muy distintos para las tres subcuencas en que hemos dividido la cabecera:

- En el Ara: 71.8 mm/100 m.
- En el Cinca: 44.9 mm/100 m.
- En el Cinqueta y Ésera: 30.1 mm/100 m.

El gradiente altitudinal va disminuyendo, por tanto, a medida que nos desplazamos del O al E, al igual que la precipitación media, por lo cual a la misma altura se registran cantidades menores en sentido O-E. Así a 2000 m de altitud la precipitación media anual registrada sería:

- En la cuenca del Ara: 1922 mm.
- En la cuenca del Cinca: 1730 mm.
- En las cuencas del Cinqueta y Ésera: 1506 mm.

Este hecho, coincidente con el comportamiento pluviométrico general del sector aragonés de la Cordillera, se ve reforzado por la disposición N-S de los valles, de modo que los interfluvios actúan como barreras orográficas y, por lo tanto, facilitan los procesos de desecación de las masas de aire en su desplazamiento O-E.

— De los resultados obtenidos se deduce que hasta los 2000 – 2500 m la precipitación se incrementa con la altitud, por lo cual el óptimo pluviométrico ha de quedar por encima de este nivel. No obstante, en la cuenca del Ara este óptimo podría quedar situado hacia 2000 m o algo menos, pues los totalizadores localizados a mayor altitud muestran una precipitación media inferior a la del de Otal (2337 mm a 1862 m). La cuenca del Ara es la más occidental y presenta mayor facilidad para la condensación de la humedad atlántica, por lo que no debe extrañar este hecho.

Agradecimientos. A Eléctricas Reunidas de Zaragoza (E. R. Z.) y al Centro Meteorológico Territorial de Aragón, La Rioja y Navarra (Instituto Nacional de Meteorología) por las facilidades para la obtención y utilización de los datos.

Referencias

- BORDERÍAS, M. P. (1975): *Valle del Ésera. Estudio climático*. Tesis de licenciatura inédita. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- CREUS NOVAU, J. (1983): *El clima del Alto Aragón Occidental*. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos, n.º 109. Jaca.
- CREUS NOVAU, J. (1987): Algunas características climáticas de la alta montaña en los Pirineos Centrales. *Actas del X Congreso Nacional de Geografía*:137-146. Zaragoza.
- CUADRAT PRATS, J. M. (1981): *El Clima del Pirineo Central. Ensayo de aplicación al turismo de montaña*. Tesis doctoral inédita. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- GARCÍA RUIZ, J. M.; PUIGDEFÁBREGAS, J. & CREUS NOVAU, J. (1985): *Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón*. Colección de Estudios Altoaragoneses, n.º 2. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- MARÍN JAIME, J. M. (1988): *Estudio hidrológico de la cuenca alta y media del río Gállego*. Tesis doctoral inédita. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- PLANA CASTELLVÍ, J. A. (1975): *Balance hídrico de la Cuenca del Noguera Ribagorzana*. Tesis doctoral inédita. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. & CREUS NOVAU, J. (1976): Pautas espaciales de variación climática en el Alto Aragón. *Pub. Centro pirenaico de Biología experimental*, 1 (7): 23-34.
- VALLE MELENDO, J. del (1996): *El Clima del Prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos*. Serie Investigación, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.